

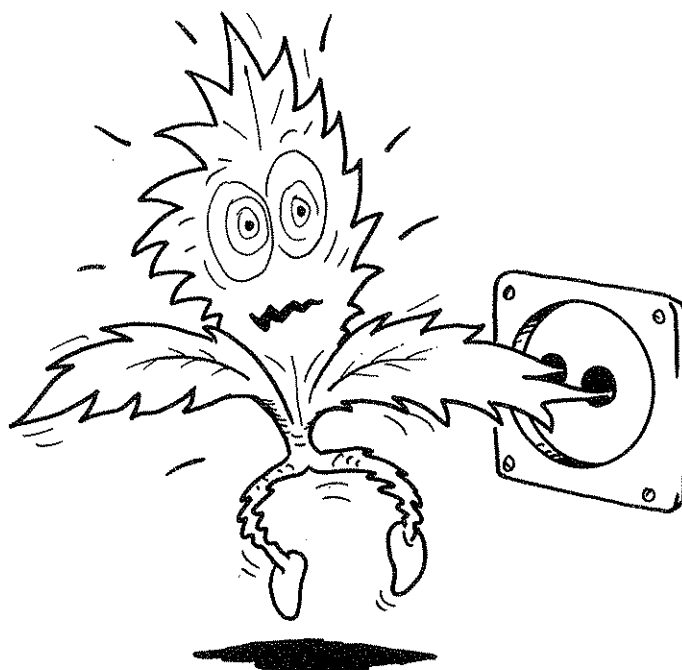
**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

ELSTRÖM FÖR OGRÄSBEKÄMPNING

- en litteraturstudie

**Weed Control by Electric Currents
- a Review**

Berit Mattsson



**Institutionen för lantbruksteknik
Avd för park- och trädgårdsteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural Engineering**

**Rapport 193
Report**

**Alnarp 1995
ISSN 00283-0086
ISRN SLU-LT-R-193-SE**

ABSTRACT

This review considers whether or not weed control by the electric shock technique and the electrical discharge method could become practical non-chemical field weed control methods. The mentioned electrical methods have limitations and could never replace other weed control methods completely, but they could be important complements much needed in non-chemical control systems.

FÖRORD

Det finns ett stort behov av effektiva icke-kemiska metoder mot ogräs om det skall vara möjligt att ersätta de kemiska bekämpningsmedlen. Därför är det väsentligt att ta del av de experiment som gjorts med elektriska metoder mot ogräs.

Målet har varit att göra en bedömning av metodernas tillämpbarhet med hjälp av den dokumentation som finns tillgänglig från experiment som genomfördes under 70- och 80-talet. Arbetet har finansierats av Statens Jordbruksverk.

Jag vill rikta ett varmt tack till Dr M.F. Diprose som bidragit med information och värdefulla synpunkter och till Susanne Ljungberg vid Avd. för park- och trädgårdsteknik som ansvarat för slutredigering av rapporten.

Alnarp i mars 1995

Berit Mattsson

SUMMARY	1
SAMMANFATTNING	3
INLEDNING	5
TEKNIK FÖR ELEKTRISK OGRÄSBEKÄMPNING	6
Hur fungerar det?	6
Gnisturladdningsmetoden	6
Kontaktmetoden	7
Säkerhetsaspekter	8
OGRÄSBEKÄMPNING	10
Gnisturladdningsmetoden	10
Effekten på växten	10
Ogräsförsök	10
Kontaktmetoden	11
Effekten på växten	11
Ogräsförsök	14
ENERGIFÖRBRUKNING OCH KOSTNADER	16
Gnisturladdningsmetoden	16
Kontaktmetoden	16
Kostnad	17
DISKUSSION	18
REFERENSER	19

SUMMARY

There is a great need for alternative weed control methods. In this report research work on electrical weed control is summarized and the feasibility of two different electrical weed control methods is evaluated.

Basically two different principles have been used; electrical discharges and direct electric shocks. Electric discharges means the discharge of a quantity of electricity into the plant from a high voltage electric energy source. The discharge electrodes need not necessarily touch the the plant if very high voltages are used, since the discharge can jump across an air gap. Direct electric shock treatment is a continuous process where a generator is physically connected to the plant by an electrode, the ground being used as the other.

A number of articles on the direct electric shock technique were found but not very many on the electrical discharge method. Research work on the latter was performed in the former Soviet Union which means that only a limited number of articles are available in English. Research and development work on the electric shock method was mainly done in the US and Great Britain in the 1970s, with some work in Belgium and France (most publications are in English).

When using the electrical discharge method the plant tissue is mainly damaged by the electrical current and the shock wave. There might also be damage caused by the heat from the discharge. When using the direct electric shock method a current passes through the plant and the electrical energy is transformed into heat. The heat causes cell rupture when the cell fluid boils.

Plants are destroyed regardless of whether they are considered weeds or not. Therefore the weed plants must be taller than the cultivated plants. So that the electrode can be adjusted to touch only the weed plants. Woody plants are less sensitive than herbaceous plants, which means this method could be used in nurseries and fruit plantations.

For the direct electric shock method energy consumption figures are available. The figures from different experiments vary a lot, because of differences regarding experimental equipment, weed species, manner of growth, amount of weed plants and plant size. According to some articles the extra diesel consumption for the weed control device is not very high (3-5 l/ha). Some researchers claim that energy efficiency could be even higher if the construction was improved and the dose to every single plant was regulated.

The only estimations of costs are available from the US where the Lasco company manufactured equipment for weed control (direct electric shock) in the 1970s. Unfortunately it is not possible to make a good cost estimation for the use of the method under present conditions, as there are no machines available on the market today. If machines were to be manufactured, relatively high investment costs for the machines can be expected. On the other hand operating costs would be relatively low. With extensive annual use, the machine costs would probably be competitive with the costs of other weed control methods.

The safety aspects would be very important if electrical weed control machines were to be developed. The risk of touching high voltage parts must be eliminated. In Sweden a permission from the National Energy Administration is required to manufacture this kind of equipment, and detailed constructional drawings are necessary to obtain it.

Electrical weed control methods could become an interesting alternative in some cases. There is not any equipment available in the market, but there is enough experience documented to make it possible to use both the direct electric shock method and the electrical discharge method. The security hazards must be solved, of course.

The electrical weed control methods (electrical discharges and direct electric shocks) have limitations and could never replace other weed control methods completely, but they could be important complements much needed in non-chemical weed control systems.

SAMMANFATTNING

Syftet med litteraturstudien som redovisas här är att summera de arbeten som gjorts, och att göra en bedömning av hur användbar och utvecklingsbar elektrisk ogräsbekämpning är i den nuvarande situationen där behovet av nya lösningar är stort.

Det finns två metoder som används för ogräsbekämpning med elström. *Gnisturladdningsmetoden* där mycket höga spänningar genereras mellan två elektroder eller mellan elektrod och jord. När ogräset kommer mellan elektroderna sker en gnisturladdning och ogräsets celler skadas. Vid användning av *kontaktmetoden* berör den ena elektroden plantan medan den andra är jordad. Strömkretsen sluts av plantan och en ström leds genom växtvävnaden och skadar den.

Relativt mycket litteratur finns tillgänglig om kontaktmetoden tack vare det forsknings- och utvecklingsarbete som genomfördes i USA och England under 1970-talet. I f.d. Sovjetunionen har forskare arbetat med gnisturladdningsmetoden. Tyvärr har inte så mycket information varit tillgänglig när det gäller denna forskning beroende på svårigheten att få fram relevant litteratur och inte minst på språksvårigheter.

Kontaktmetoden innebär att en strömförande elektrod kommer i direkt beröring med ogräsplantan. En ström leds genom växten ner till jord. Den elektriska energin omvandlas till värme i växten så att vätskan som finns inuti cellerna kokar och membranen sprängs. Det är alltså en form av termisk ogräsbekämpning.

För gnisturladdningsmetoden tyder de flesta uppgifterna på att växtvävnaden skadas av den höga strömstyrkan och den tryckvåg (shock wave) som bildas vid gnisturladdningen. Teorier finns också om att höga temperaturer lokalt skulle kunna skada delar av växtvävnaden.

För båda metoderna gäller att örtartade plantor skadas oavsett om de är att betrakta som ogräs eller inte. För kontaktmetoden kan man dock få en selektivitet i behandlingen om ogräsen är högre än grödan och elektroden placeras så att enbart ogräsplantor träffas (jfr avstrykning). Det har också visat sig att vedartade växter är mindre känsliga än örtartade, vilket innebär att metoden skulle kunna användas i energiskog, plantskolor och fruktodling.

Uppgifter om energiförbrukning finns tillgängliga för kontaktmetoden. Uppgifterna från olika försök varierar en hel del, vilket t.ex. kan bero på skillnader när det gäller utrustning, ogräsarter, ogräsens växtsätt, mängd och storlek. Enligt de litteraturuppgifter om dieselförbrukning som finns (3-5 l/ha) är energiförbrukningen inte speciellt hög. Det finns dock författare som hävdar att energiförbrukningen skulle kunna minskas genom bättre verkningsgrad från traktor till elektrod och genom bättre reglering av dosen till varje planta.

Det finns enstaka gamla uppgifter om kostnader från USA där företaget Lasco tillverkade utrustning under 1970-talet. Tyvärr är uppgifterna alltför inaktuella för att det skall vara möjligt att göra en bra uppskattning av kostnaden för att använda tekniken idag. Det finns inte heller någon utrustning kommersiellt tillgänglig. Man kan dock säga att investeringskostnaden kan förväntas bli relativt hög om något företag skulle besluta sig för tillverkning. Å andra sidan skulle driftskostnaden sannolikt bli relativt låg. Om utrustningen kan användas på stora arealer skulle den alltså kostnadsmässigt kunna konkurrera med andra metoder.

Vid en eventuell utveckling och användning av kontakt- eller gnisturladdningsmetoden skulle säkerhetsaspekterna väga tungt. En sådan utrustning har strömförande delar med farligt höga

spänningar. Statens Energiverk kan ge tillstånd för tillverkning av denna typ av utrustning, men utan färdiga konstruktionsritningar kan man inte få besked om chanserna att få tillstånd.

Sammanfattningsvis kan man säga att elström skulle kunna vara ett alternativ till andra bekämpningsmetoder i vissa speciella situationer. I dagsläget finns det inte någon utrustning tillgänglig på marknaden, men det finns tillräckligt mycket erfarenheter dokumenterade för att göra det möjligt att tillämpa gnisturladdnings- och kontaktmetoderna om utrustningen kan konstrueras på ett säkert sätt.

Elektrisk ogräsbekämpning är inte någon universalmetod, men kan kanske bli en viktig pusselbit i det system av metoder som behövs för att kunna genomföra effektiv icke-kemisk ogräsbekämpning.

INLEDNING

Det finns en strävan efter att minska eller helt utesluta användningen av kemiska ogräsmedel både inom den yrkesmässiga odlingen och park- och grönyteförvaltningarna. Antalet tillåtna preparat har också minskat drastiskt och behovet av andra metoder för ogräsbekämpning är stort.

I praktiken används icke-kemiska metoder i form av mekanisk ogräsbekämpning, t.ex. hackning och ogräsharvning, och termisk ogräsbekämpning i form av flamning. Verksamhet pågår för att försöka förbättra dessa metoder, men också för att försöka hitta nya metoder. Exempel på detta är en pågående verksamhet i USA där man utnyttjar hetvatten för ogräsbekämpning (Berling, 1993). Ett annat exempel är frysning av ogräsplantor med hjälp av flytande kväve och kolsyresnö (Fergedal, 1993).

Idén att kunna utnyttja elektricitet för ogräsbekämpning är inte ny. Redan under slutet av 1800-talet patenterades en maskin för elektrisk ogräsbekämpning av en amerikan (Sharpe, 1893). Därefter har utrustningar av olika slag konstruerats, men det var först på 1970-talet och i början på 1980-talet som en omfattande forsknings- och utvecklingsverksamhet inom elektrisk ogräsbekämpning kom igång i USA. (Diprose & Mattsson, 1993).

Även i Europa och i f.d. Sovjetunionen har forskning på elektrisk ogräsbekämpning bedrivits. I Europa har man arbetat med kontaktmetoden, där en strömförande elektrod kommer i kontakt med ogräsplantorna så att ström leds genom plantan till jord. I Sovjetunionen använde man istället gnisturladdning. Mycket höga spänningsnivåer byggs upp mellan två elektroder. När ogräset kommer mellan elektroderna sker en gnisturladdning och ogräsets celler skadas. (Diprose m.fl., 1984)

Elektrisk ogräsbekämpning är inte någon universalmetod, men kan kanske bli en viktig pusselbit i det system av metoder som behövs för att kunna genomföra effektiv icke-kemisk ogräsbekämpning. Syftet med litteraturstudien som redovisas här är att summera de arbeten som gjorts, och att göra en bedömning av hur användbar och utvecklingsbar elektrisk ogräsbekämpning är i den nuvarande situationen där behovet av nya lösningar är stort.

TEKNIK FÖR ELEKTRISK OGRÄSBEKÄMPNING

Hur fungerar det?

Gnisturladdningsmetoden

Vid användning av gnisturladdning genereras mycket höga spänningar, 60-100 kV mellan två elektroder eller mellan en elektrod och jord. Det blir inte något överslag mellan elektroderna förrän något föremål kommer in mellan dem. Föremålet påverkar det elektriska fältet och detta orsakar att det bildas en gnista mellan elektroderna (Bayev & Savchuk, 1974).

Metoden kan användas för ogräsbekämpning eller gallring av plantor. Klimov m.fl. (1970) redogör för hur metoden kan användas för att påskynda frammognaden och torkningen av frön hos solrosplantor. En traktorburen utrustning alstrade gnistor som träffade stjälkarna på solrosplantorna strax ovan marknivå. Två elektroder var placerade så att de passerade på var sin sida om plantan och gnisturladdningen skedde mellan dessa elektroder. I det ögonblick då urladdningen sker utgör plantans stjälk en del av strömkretsen.

Enligt Diprose & Benson (1984) beror effekten av gnisturladdningsmetoden på att växtvävnaden skadas av strömmen och den tryckvåg (shock wave) som bildas vid gnisturladdningen.

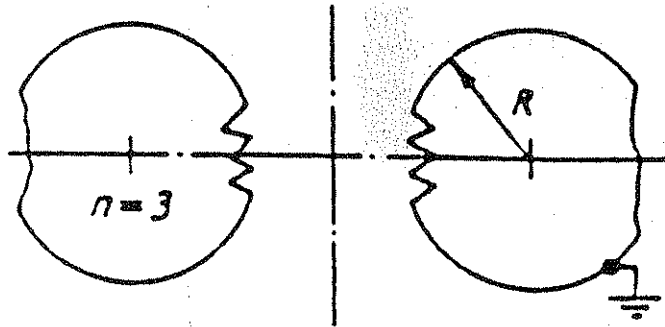
Savchuk & Bayev (1975) redovisar resultaten från en experimentell undersökning av elektroder för gnisturladdningsmetoden. Elektroder med olika utformning undersöktes och följande kravspecifikation kunde formuleras:

1. Elektroderna skall utformas så att spänningen är så låg som möjligt. Att energin blir lägre i varje enskild puls kan kompenseras genom att kapacitansen och antalet urladdningar per planta ökas.
2. Elektroderna skall utformas så att man försäkras om att plantan verkligen kommer där gnistan kan bildas; mellan elektroderna.
3. Elektroderna bör vara symmetriska.
4. Elektrodernas utformning bör vara så enkel som möjligt.

De elektroder som bäst uppfyllde dessa krav var två runda stänger monterade på lämpligt avstånd från varandra. Det finns dock en nackdel med den här typen av elektroder; överslagsspänningen ökar då diametern på plantorna ökar. Om avståndet mellan elektroderna är 100 mm och plantans diameter är upp till 30 mm måste spänningen mellan elektroderna vara minst 85 kV. Med så hög spänning blir det överslag även om det inte finns någon planta mellan elektroderna. Detta gör energiförbrukningen onödigt hög. Därför ansåg Savchuk & Bayev (1975) att det fanns ett behov av att utveckla bättre elektroder.

Bayev & Savchuk (1976) redovisar sitt fortsatta arbete med att utveckla ett förbättrat elektrod-system. De utformade ett elektrodsystem som hade icke-linjära elektriska fält då en cylindrisk stjälk fanns mellan dem. Urladdningen skedde vid 25-50 kV. Då det inte fanns någon plantstjälk mellan elektroderna var fältet linjärt, så att det inte blev någon urladdning förrän spänningspotentialen var ca 80 kV. Elektroden bestod av ett par runda plattor som var knappt 3 mm

tjocka och 40-100 mm i diameter med V-formade hack i kanten på varje platta. Plattorna var placerade med kanterna mot varann, på ett avstånd på 50-100 mm mellan plattorna och hacken mitt emot varann. (Fig. 1)



Figur 1. Figur som visar elektrodernas utformning (ur Bayev & Savchuk, 1976).

Kontaktmetoden

Kontaktmetoden innebär att en strömförande elektrod kommer i direkt beröring med ogräsplantan. En ström leds genom växten ner till jord. Den elektriska energin omvandlas till värme i växten så att vätskan som finns inuti cellerna kokar och membranen sprängs. Det är alltså en form av termisk ogräsbekämpning. Enligt Howe (1977) kunde man ibland se vätskan kondensera på stjälken efter behandlingen i de försök som genomfördes. Ogräsplantorna börjar vissna efter 5-10 minuter och efter ca 3 timmar har nedvissningen gått ganska långt.

På en utrustning för kontaktmetoden finns en generator som drivs från kraftuttaget på traktorn (Fig. 2), utrustningen kan också vara försedd med motor. En generator med transformator ger en spänning på 5-15 kV. Strömmen leds till en elektrod av metall som skall komma i beröring med ogräsplantan (Fig. 3). Ett hjul av stål rullar på marken och fungerar som jordledning. Genom växterna som kommer i kontakt med elektroden leds en ström ner till jord. Växtcellerna hettas upp, cell- vätskan förångas och cellstrukturen förstörs (Diprose m.fl., 1980; Diprose m.fl., 1985). Effekten på växten kommer alltså omedelbart och det blir inte några skadliga restprodukter.

Ett amerikanskt företag höll på med utvecklingsarbete av en utrustning för elektrisk ogräsbekämpning under 1970-talet. Företaget hette "The Lasco Corporation of America" och utvecklingsarbetet ledde till serietillverkning av en utrustning som kallades EDS (Electrical Discharge System). För små örtartade ogräsplantor räckte det med en 15 kW utrustning, men för att klara vedartat sly krävdes utrustning på 200 kW (Howe, 1977).

EDS-utrustningen var försedd med en elektrod som skulle komma i kontakt med ogräsplantorna och ett hjul som fungerade som jordkontakt (Sugarbeet Grower, 1981). Effekten kunde justeras från förarplatsen och när det inte var några plantor som kom i kontakt med elektroden så förbrukades inte heller någon ström. Energiförbrukningen var alltså beroende av mängden ogräs på fältet.

Tillverkningen av EDS-maskiner har upphört då patentet sålts. De Lasco EDS-maskiner som fortfarande används i USA har en kraftuttagsdriven generator som ger 9.000-13.000 V och

50-110 kW. De är avsedda för radodlade grödor och potatis. Tyvärr är det svårt att få tag i reservdelar eftersom tillverkningen har upphört. Idag ägs patentet för Lasco EDS av Landy Teller, Mississippi, USA (tel.601 636-6565). (Zollinger, 1993)



Figur 2. Lasco-utrustning använd vid försök i Belgien. På bilden syns generatoren och jordningshjulen som sitter bakom traktorn. (Foto: M.F. Diprose)



Figur 3. Elektrodbom monterad framtill på samma maskin som i figur 2.(Foto: M.F. Diprose)

Säkerhetsaspekter

Säkerheten för operatören och för andra personer som kan komma i närheten är givetvis mycket väsentlig eftersom utrustning för elektrisk ogräsbekämpning har strömförande delar med farligt höga spänningar.

Den enda utrustning som verkar ha funnits kommersiellt tillgänglig, Lasco EDS, var försedd med en rad olika anordningar för att förhindra olyckor. Enligt Vigoureux (1981b) var säkerhetssystemet utformat på följande sätt:

1. De två hjulen som jordade utrustningen måste minst ha en hastighet på 1,1 km/h, annars stängdes strömmen till elektroden av.
2. Det fanns en brytare i traktorsitsen som gjorde att strömmen bröts då föraren reste sig.
3. Det fanns temperaturkänsliga brytare i generatorn och transformatorn, så att strömmen skulle brytas vid eventuell överhettning.
4. Manöverpanelen med larmanordningar fanns inom räckhåll för föraren.
5. Kraftuttaget måste stängas av innan föraren lämnade hytten.

Vid en jämförelse med många andra lantbruksmaskiner, t.ex. jordfräsar och flammingsutrustning, förefaller säkerhetssystemet vara relativt bra. Detta är givetvis rimligt med tanke på de höga spänningsnivåerna.

OGRÄSBEKÄMPNING

Gnisturladdningsmetoden

Effekten på växten

Klimanov m.fl. (1970) studerade hur växtvävnaden påverkades av gnisturladdningen. De visade att det fanns ett tröskelvärde under vilket konduktiviteten, dvs. förmågan att leda ström, var konstant. När tröskelvärdet överskridits efter gnisturladdning, så minskade resistansen och konduktiviteten ökade snabbt då cellmembranen förlorat sin semi-permeabilitet genom att växtsaften sipprat ut mellan cellerna.

Anledningen till att studierna genomfördes är att plantans stjälk utgör en del av strömkretsen i det ögonblick då gnisturladdningen sker. Växtvävnadens elektriska egenskaper har alltså betydelse för den effekt som kan uppnås. En rad olika parametrar påverkar de elektriska egenskaperna, t.ex. utvecklingsstadium och diameter på stjälken.

Enligt Bayev & Savchuk (1974) är det inte temperaturökningen, tryckvågen eller den optiska strålningen vid gnisturladdningen och magnetiska fält utan den stora strömstyrkan (high current densities) som dödar plantan.

Temperaturökningen i växtcellerna där strömmen passerat uppmättes till mindre än en grad, vilket också stämmer med teoretiska beräkningar. Det krävs betydligt högre temperaturer för att skador på växtvävnad skall uppstå. Enkla undersökningar gjordes också för att klargöra betydelsen av de magnetiska fälten. Man använde en metallisk ledare för att minimera magnetfältet. Det visade sig att magnetfältet inte var den viktigaste faktorn.

Man antog att en av de andra faktorerna, dvs. strömmen genom växtvävnaden, tryckvågen eller den optiska strålningen hade den avgörande betydelsen för effekten. Eftersom det var svårt att undersöka dessa faktorer utgick man ifrån att skadans omfattning var proportionell mot den viktigaste faktorn. Om man ökade en faktor i taget skulle man alltså kunna bedöma vilken som var viktigast genom att studera effekten på plantorna. Man kunde utesluta att det skulle vara en effekt av tryckvågen eller den optiska strålningen, och drog slutsatsen att skadorna på plantorna orsakades av strömmen.

Svitalka (1976) ansåg dock att höga temperaturer lokalt skulle kunna skada delar av växtvävnaden. Han ansåg också att tryckvågen (shock wave) kan ge skador på cellväggarna och kan få cytoplasman att koagulera. Han påpekade också att konduktivitätsströmmarna innan gnistbildningen kan orsaka skador på cellerna.

Ogräsförsök

Slesarev m.fl. (1972) genomförde fältförsök med gnisturladdningsmetoden. Skälet till att forskarna var intresserade av elektrisk ogräsbekämpning var att man ville undvika jordbearbetning då detta kunde leda till jordflykt på de aktuella jordarna. Man hade en utrustning som alstrade strömpulser, och spänningen var ca 25 kV. Ogräsplantor på en träda behandlades och tre dagar efter behandling hade fotosyntes och transpiration helt upphört hos svinmålla (*Chenopodium album*) som exponerats under 10^{-6} sekunder.

För att fastställa dödsorsaken undersöktes protoplasmans permeabilitet i cellerna. Rötter från rödbetor användes. Det visade sig att strömpulserna hade förstört cellmembranen, så att innehållet kunde diffundera ut. Det visade sig också att en ökning av spänningen från 5 till 25 kV förstärkte effekten avsevärt. Ju större del av stjälken som påverkats, desto snabbare blev nedbrytningen av plantan. Man konstaterade också att effekten försämrades om många plantor träffades samtidigt.

Slesarev (1973) redovisar försök då ogräsplantor exponerades för gnisturladdning på 30 till 50 kV under 10^{-6} sekunder. De ogräsarter som behandlades var svinmålla (*Chenopodium album*), olika amarant-arter (*Amaranthus*), hampa (*Cannabis ruderalis*), pilört (*Polygonum bistorta* & *Fagopyrum tataricum*), åkervinda (*Convolvulus arvensis*), flyghavre (*Avena fatua*) och hirs (*Setaria*) och samtliga arter var döda 4-6 dagar efter behandlingen. Om spänningen eller behandlingstiden ökades dödade plantorna snabbare. Om en större del av stjälken behandlades så gick det också snabbare.

Slesarev (1973) gjorde också en jämförelse mellan kemisk och elektrisk bekämpning av roto-gräs på hösten. Herbiciden 2,4D användes och man konstaterade att rötterna skadades mer på djupet av den elektriska behandlingen än av den kemiska bekämpningen. De arter som undersöktes var åkermolke (*Sonchus arvensis*), åkervinda (*Convolvulus arvensis*) och törel (*Euphorbia sp.*).

Kontaktmetoden

Effekten på växten

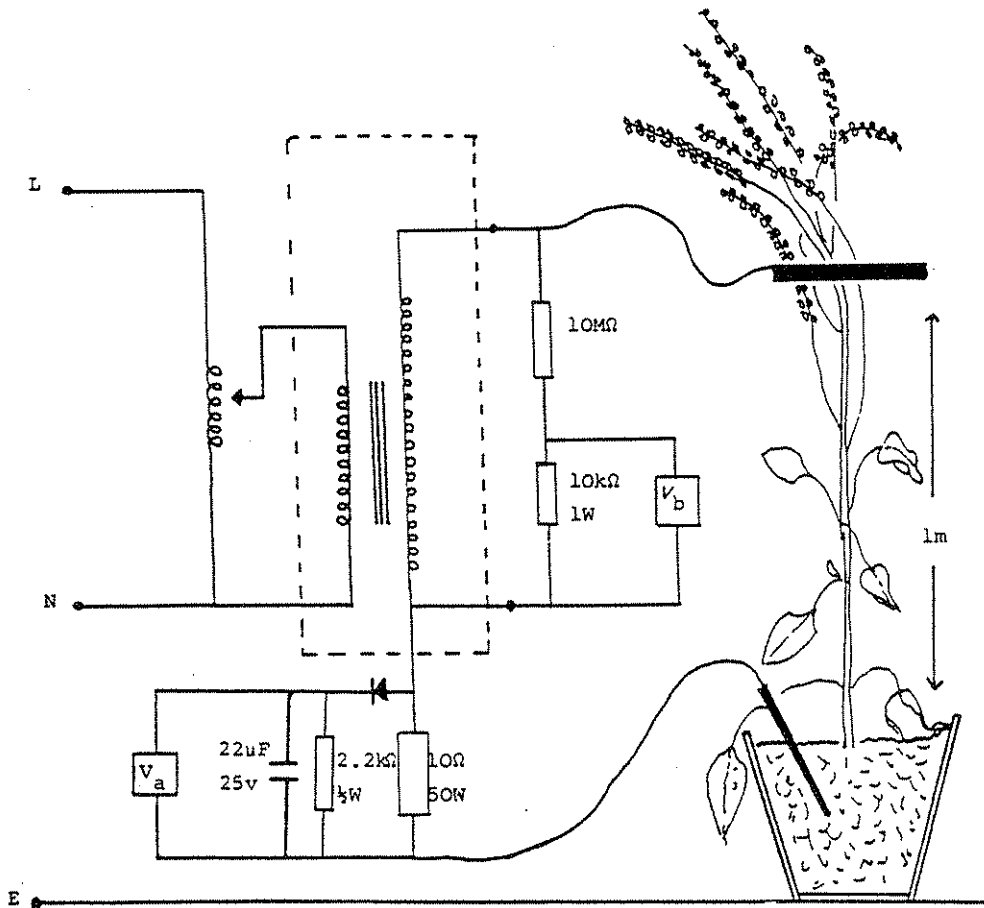
Som tidigare nämnts leds en ström genom ogräsplantan då elektroden kommer i kontakt med den. Elektroden kan fungera som en avstrykare då ogräsen är högre än kulturväxterna. Elektrodens höjd anpassas så att den enbart kommer i kontakt med ogräsplantorna men passerar över kulturväxterna.

Enligt Dykes (1980) sker en uppvärmning av cellvätskan då strömmen leds genom plantan. Då cellvätskan förångas och expanderar sprängs cellmembranen och cellstrukturen förstörs. Känsligheten för denna behandling varierar mellan olika arter.

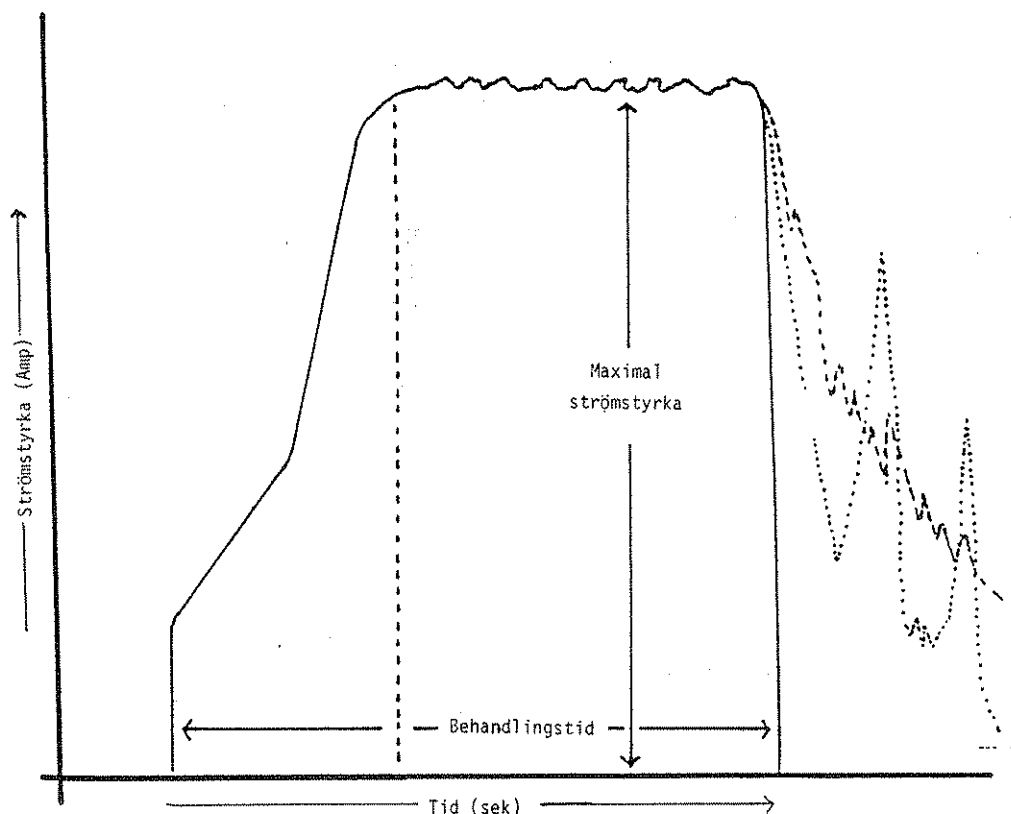
Diprose m.fl. (1978) redogör för experiment med kontaktmetoden på plantor med olika växtsätt; *Chrysanthemum segetum*, åkersenap (*Sinapis arvensis*) och sockerbeta (*Beta vulgaris*). Om spänningen höjdes ökade strömstyrkan och behandlingstiden kunde minskas. För en 1 m hög åkersenapsplanta krävdes 2000 V, 0,29 A under ca 150 sekunder för att stjälken skulle brännas av helt. Då spänningen ökades till 4000 V var maximala strömstyrkan 1,34 A och behandlingstiden minskades till 13 sekunder för att uppnå samma effekt. Ju större planta desto större effekt krävdes. Växter som var odlade på friland krävde 2 eller 3 gånger så hög effekt som växthusodlade plantor.

Diprose m.fl. (1980) genomförde bl.a. försök med kontaktmetoden i laboratorieskala. Betplantor odlades i krukor och plantornas höjd var 1 - 1,4 m vid försökstidpunkten. Plantorna behandlades en i taget (fig. 2). Den ena elektroden stacks ner i jorden i krukans medan den andra, en bit aluminiumfolie, kom i kontakt med plantans ovanjordiska delar. Det visade sig att strömmen genom plantan ökade i början för att uppnå en maximal nivå (fig. 3), men att strömmen slutade ledas genom växten då den elektriska ledningsförmågan upphört p.g.a. att vävnaden förstörts.

Spänningsnivåer på 1, 2.5 och 5 kV testades och plantorna behandlades tills strömmen inte längre kunde passera genom den skadade växtvävnaden, eller plantans stjälk helt enkelt bränts av. När en spänning på 1 kV användes behövdes en behandlingstid på över 300 sekunder, men tiden kunde reduceras till 10 sekunder vid 5 kV.



Figur 4. Försökupställning för behandling med kontaktmetoden (efter Diprose m.fl., 1980)



Figur 5. Typisk kurva för förloppet för strömstyrkan genom den behandlade växten. Efter en viss behandlingstid förstörs cellstrukturen i växten och ledningsförmågan upphör. (Diprose m.fl., 1980).

Senare genomfördes även fältförsök i sockerbetor. Man började med en enkel bärbar utrustning men senare utvecklades även en traktorburen utrustning. Utrustningen var försedd med en kraftuttagsdriven generator som kunde ge en spänning på 8 kV, och en 3 m lång elektrod. Elektroden placerades vinkelrätt mot körriktningen så att den nådde över 6 plantrader. Vid en spänning på 8 kV gav en körhastighet på 1,6 km/h bäst bekämpningsresultat. Det är en alltför låg körhastighet för att vara acceptabel i praktisk drift, så det skulle krävas en spänning på ca 16 kV för att komma upp i acceptabel körhastighet, 3-5 km/h.

När det var små betplantor som behandlats skadades och ruttnade hela roten, men på större plantor skadades betroten endast vid bladfästet. Om den behandlade växten har ett stort och utbrett rotsystem kommer strömmen att ledas ut i jorden genast då den nått marknivån. Övre delen av sockerbetans rot finns över marknivån, och denna del skadas innan strömmen leds ut i jord. Växter som maskros (*Taraxacum officinale*) har en kraftig rot som finns helt under markytan, och den kommer endast få lindriga skador på rotsystemet.

Ovanstående påstående om effekten på rotsystem stämmer överens med andra iakttagelser. Dexter & Feight (1979) konstaterar att kontaktmetoden enbart fungerar vid bekämpning av årliga ogräs eftersom perennernas underjordiska rotsystem kan motstå behandlingen och generera återväxt.

Olika växter har olika stor tolerans mot elektriska strömmar (Dykes, 1977). Detta skulle kunna utnyttjas för selektiv behandling där kulturväxten tål strömmen bättre än omgivande ogräsplantor. Vedartade växter tål ström bättre än örtartade, så metoden skulle troligen kunna vara tillämpbar i plantskolor, frukt- och vissa bäroddlingar.

Enligt Howe (1977) har försök genomförts där elektroden sänktes ner så att den kom i kontakt med de översta bladen på sockerbetsplantorna. På så sätt kunde man döda fler ogräsplantor, men betplantorna tog också viss skada. Han konstaterade vidare att fler undersökningar behövdes för att selektiv ogräsbekämpning skulle vara möjlig.

Den amerikanska maskinen Lasco EDS har använts för ogräsbekämpning vid landsvägar och järnvägar, för beskärning av blåbär i New England och blstdödning av potatis i Nebraska (Bramlett, 1977).

Enligt Zollinger (1993) används Lasco EDS fortfarande av en del odlare i Norddakota och Minnesota. Problem med torr ytjord har utgjort en begränsning för tekniken. Om jorden är torr blir inte jordningen tillräckligt effektiv och man får dålig effekt på ogräsplantorna. Ett annat problem har uppstått då man kört i täta ogräsbestånd. Trots att generatoren arbetat för fullt räcker inte strömmen till för att uppnå god bekämpningseffekt. Utrustningen har en avstängningsmekanism för att förhindra skador på generatoren vid stora uttag av elektricitet. Detta innebär att utrustningen slutar fungera då man kör in i täta ogräsbestånd. Utrustningen fungerar alltså bäst där det inte är alltför mycket ogräs och där en bra jordning är möjlig.

Ogräsförsök

Rasmusson m.fl. (1979) genomförde försök med Lasco's EDS utrustning som var försedd med en 50 kW kraftuttagsdriven generator. Försöken genomfördes i Norddakota och Minnesota på fält med varierad ogräsflora. Några generella iakttagelser gjordes:

- Unga ogräsplantor var mer lättbekämpade än äldre.
- Det var lättare att bekämpa ogräsplantor som var utspridda än där det var täta bestånd.
- Där ogräsen växer i täta bestånd kan det vara nödvändigt att minska körhastigheten för att få god effekt.
- Två behandlingar gav bättre ogräseffekt än en.
- Ju bättre kontakt mellan elektroden och plantans stam och skott desto bättre ogräseffekt.
- Plantor med en stam var lättare att bekämpa än plantor med ett förgrenat växtsätt.

Enligt Bramlett (1977) blir de ovanjordiska delarna av rotoqramen dödade, men rötterna skadas inte eftersom strömmen försvinner ut i jord så snart den når marken. Dexter & Feight (1979) bekräftar att kontaktmetoden enbart är effektiv mot fröogram. Rotogram kan snabbt skjuta nya skott från opåverkade rotdekar.

En maskin från Lasco användes för ogräsbekämpning i en plantskola för platanträd. Man gjorde försök där man behandlade ogräsplantor som var högre än träden, men också sådana som var

lika höga. Där utnyttjade man de vedartade växternas större tolerans mot elektricitet. (Dykes, 1977)

Ogräsarterna var huvudsakligen *Zanthium sp*, *Ambrosia trifida* och *Sesbania exaltata*. I den första odlingen (50 ha) var plantorna helt överväxta av ogräs. Platanträden var 0.6-2 m höga medan ogräset var upp till 2.5 m. Ogräsbeståndet var 4.000-12.000 plantor per ha. Elektoden förflyttades över fältet på en höjd på ca 1.3 m över marken. Efter 3 dagar hade 95-99 % av de ogräsplantorna dött som varit höga nog att komma i kontakt med elektroden.

I de andra två odlingarna (totalt 100 ha) hade man jordbearbetat ca sex veckor före den elektriska ogräsbekämpningen. De ogräs som återstod växte alldeles intill träden, så att det inte gick att bekämpa dem mekaniskt utan att skada plantorna. Man behandlade ogräsplantorna på samma höjd som vid det föregående försöket, en körhastighet på 4-5 km/h och en maximal strömstyrka på 5 A. Fem dagar efter behandling var 90-95 % av de örtartade ogräsen bruna och intorkade. Några grenar hade blivit avbrutna på träden, men i övrigt var de oskadda. Efter 60 dagar kunde man inte se att de tagit någon skada alls.

Chandler (1978) redovisar resultat av växthus- och fältförsök där Lasco's EDS användes. Behandlingarna gjordes 3, 4 eller 5 veckor efter uppkomst. Körhastigheten var 4-8 km/h och det visade sig att beröringstiden hade en avgörande betydelse. Dödliga doser fastställdes för olika arter.

I Nebraska utvärderade Wilson & Anderson (1981) Lasco's EDS-utrustning för bekämpning av tre olika ogräsarter som sågts i sockerbetor; *Kochia scoparia*, svinamarat (*Amaranthus retroflexus*) och svinmålla (*Chenopodium album*). Försöken genomfördes under åren 1977-79 och den totala ogräseffekten under dessa år var 32%, 39% respektive 47%. Den förbättrade effekten förklarades med förbättringar som gjorts på utrustningen, bl.a. hade spänningen ökats från 12 till 20 kV.

Trots att många ogräsplantor klarade sig så blev betskörden bättre i behandlade än i obehandlade parceller. En nackdel med metoden är att man tvingas vänta tills ogräsplantorna blivit högre än grödan vilket gör ogräsplantorna svårbekämpade. I det här beskrivna försöket dröjde det till mellan 9 och 13 veckor efter sådd innan ogräsplantorna var högre än sockerbetsplantorna. Då har ogräskonkurrensen sannolikt redan hunnit påverka betskörden.

Enstaka betblad som kom i kontakt med elektroden vissnade och torkade in, men betplantorna verkade inte ta någon allvarlig skada av detta.

ENERGIFÖRBRUKNING OCH KOSTNADER

Gnisturladdningsmetoden

Enligt Slesarev (1973) så krävs det en effekt på 10-15 kW för att behandla ett hektar träda med "normal" ogräsflora. Tyvärr specificeras inte ogräsmängden. Inga andra uppgifter om energiförbrukning eller kostnader för gnisturladdningsmetoden har påträffats.

Kontaktmetoden

Enligt Chandler (1978) påverkas energiförbrukningen av faktorer som ogräsen storlek och växtsätt, arter, ogräsen kemiska uppbyggnad, rotsystemets utbredning och jordens fukthalt. I Chandlers försök visade det sig att det krävdes 10 gånger mer energi för att bekämpa ogräs i fältförsök än växthusodlade ogräsplantor.

Lasco EDS-utrustning användes i försök på North Dakota State University i början på 80-talet. Energiförbrukningen vid användning av elektrisk ogräsbekämpning mättes. I genomsnitt förbrukades 8.0 l diesel per hektar vid en körhastighet på 4,7 km/h och en ogräseffekt på 94%. Det krävdes en traktor på minst 85 kW för att kunna driva EDS-utrustningen. Man testade också bränsleförbrukningen utan utrustning och det visade sig att det gick åt 3.9 l diesel per ha vid en körhastighet på 5,1 km/h. Utrustningen för ogräsbekämpning förbrukade alltså ca 4 l diesel/ha. (Kaufman & Shaffner, 1980; Kaufman & Shaffner, 1982)

Man jämförde EDS-utrustningen med avstrykning (glyfosat) och en sprututrustning med roterande spridare. Vid jämförelsen med de andra metoderna visade det sig att EDS-behandlingen var dyrast på små arealer men blev billigare än avstrykning på arealer som var större än 210 ha. På arealer större än 920 ha var EDS den billigaste metoden. Detta berodde på att investeringskostnaden för EDS-utrustningen var högre än för avstrykaren och sprututrustningen. När man kalkylerade med större arealer blev investeringskostnaden mindre betydelsefull än preparatkostnaden.

Vigoureau (1981a) genomförde försök med Lascos EDS maskin i Belgien. Med en 135 hk traktor gav utrustningen 8-15 kV och medelkapaciteten var 2 ha/h. Den genomsnittliga bränsleförbrukningen var 5,78 l/ha. Diprose & Benson (1984) uppgav att för en 50 kW-utrustning blir dieselförbrukningen 4-10 l/ha beroende på ogräsmängden.

En 54 kW-utrustning (13 V) användes i försök för bekämpning av stocklöpare i sockerbetor. Dieselförbrukningen var 3,5 l/ha då man körde med en hastighet på 5 km/h. (Diprose m.fl., 1985)

Vigneault (1985) sammanfattar resultat från tidigare utförda experiment med att säga att det krävts mellan 40 och 2900 J per ogräsplanta för att uppnå god bekämpningseffekt. Variationen beror på skillnader i plantstorlek, arter etc. Vidare drar Vigneault slutsatsen att det skulle krävas en maskin som skulle kunna ge 800 J/planta i genomsnitt för att ge en god bekämpningseffekt på en blandad ogräsflora på 4-6 bladsstadiet. För att slå ut större plantor behövs en dos på omkring 2000 J/planta (Drolet m.fl., 1993).

Körhastigheten bör avpassas så att elektroden kommer i kontakt med ogräsplantan precis så länge som krävs för att döda den. Fortsatt kontakt därefter innebär att energi förbrukas i onödan. De traktorburna utrustningar som konstruerats har dimensionerats för en körhastighet på ca 5

km/h (Vigneault, 1985). En anpassning av körhastigheten är nödvändig eftersom ogräsförekomsten varierar mycket.

En svårighet vid anpassning av körhastigheten till ogräsen är att plantornas höjd varierar. För att inte missa lägre plantor justeras elektrodens höjd så att den passerar strax ovanför grödan. På så sätt kommer de höga ogräsplantorna att vara i kontakt med elektroden under onödigt lång tid, vilket innebär en energiförlust. (Vigneault, 1990)

Vid en teoretisk jämförelse av energiförbrukningen vid elektrisk, mekanisk och kemisk ogräsbekämpning i majs och tomater kom Vigneault m.fl. (1990) fram till att vid liten ogräsförekomst, 5 plantor/m², är energiförbrukningen ungefär lika stor för de olika metoderna (418, 191 respektive 566 MJ/ha). Elektrisk ogräsbekämpning kan inte konkurrera ur energisynpunkt då det finns större mängder ogräs. Om det är 15 ogräsplantor/m², vilket inte heller är speciellt mycket, är energiförbrukningen dubbelt så hög för elektrisk som för kemisk bekämpning och körhastigheten bara en femtedel av den hastighet som är möjlig vid kemisk bekämpning. Dessutom kan det vara nödvändigt med en upprepad behandling för att uppnå en god effekt vid elektrisk ogräsbekämpning. Mekanisk ogräsbekämpning var den metod som gav lägst energiförbrukning, men den är inte riktigt jämförbar med övriga metoder då selektiviteten är dålig för mekanisk ogräsbekämpning. Detta innebär att det inte är möjligt att bekämpa ogräs som växer i plantraderna.

Vigneault m.fl. (1990) konstaterar vidare att det krävs tekniska förbättringar för att den elektiska kontaktmetoden skall kunna konkurrera med konventionella bekämpningsmetoder. För det första bör förlusterna vid överföringen av energi från traktor till elektrod kunna minskas, och för det andra bör det vara möjligt att fastställa tröskelvärde för dödlig dos för att undvika energikrävande överdosering. Diprose m.fl. (1980) föreslog att man skulle kunna mäta resistansen från början och att strömmen skulle stängas av då resistansen minskat exempelvis till hälften av ursprungsvärdet. Alternativt skulle strömmen kunna stängas av automatiskt då resistansen kommit ner till ett visst värde. Oavsett vilken väg man väljer så krävs det ytterligare undersökningar för att fastställa genomsnittlig energidos och resistansnivå där man får en tillfredsställande ogräseffekt.

Kostnad

Vigneault (1985) gjorde ekonomiska beräkningar som visade att elektrisk ogräsbekämpning var 2-7 gånger så dyr som kemisk ogräsbekämpning, och att det därför bara var aktuellt att använda elektrisk ogräsbekämpning där andra alternativ saknades.

DISKUSSION

Det är möjligt att bekämpa växande ogräsplantor med elström. Vid användning av *gnisturladdningsmetoden* genereras mycket höga spänningar mellan två elektroder eller mellan elektrod och jord. Det blir inte något överslag mellan elektroderna förrän en ogräsplanta kommer in mellan elektroderna. Vid användning av *kontaktmetoden* berör den ena elektroden plantan medan den andra är jordad. Strömkretsen sluts av plantan och en ström leds genom växtvävnaden och skadar den.

Relativt mycket litteratur finns tillgänglig om kontaktmetoden tack vare forsknings- och utvecklingsarbete som genomfördes i USA och England under 1970-talet. I f.d. Sovjetunionen har forskare arbetat med gnisturladdningsmetoden. Tyvärr har inte så mycket litteratur varit tillgänglig när det gäller denna forskning. Det beror på svårigheten att få fram relevant litteratur och inte minst på språksvårigheter.

Örtartade plantor skadas oavsett om de är att betrakta som ogräs eller inte. För kontaktmetoden kan man dock få en selektivitet i behandlingen om ogräsen är högre än grödan och elektroden placeras så att enbart ogräsplantor träffas (jfr avstrykning). Det har också visat sig att vedartade växter är mindre känsliga än örtartade, vilket innebär att metoden skulle kunna användas i energiskog, plantskolor och fruktodling.

Uppgifterna om energiförbrukning finns tillgängliga för kontaktmetoden. Uppgifterna från olika försök varierar en hel del, vilket t.ex. kan bero på skillnader när det gäller utrustning, ogräsarter, ogräsens växtsätt, mängd och storlek. Enligt de litteraturuppgifter om dieselförbrukning som finns (3-5 l/ha) är energiförbrukningen inte speciellt hög. Det finns dock författare som hävdar att energiförbrukningen skulle kunna minskas genom bättre verkningsgrad från traktor till elektrod och genom bättre reglering av dosen till varje planta.

Det finns enstaka gamla uppgifter om kostnader från USA där företaget Lasco tillverkade utrustning under 1970-talet. Tyvärr är uppgifterna alltför inaktuella för att det skall vara möjligt att göra en bra uppskattning av kostnaden för att använda tekniken idag. Det finns inte heller någon utrustning kommersiellt tillgänglig. Man kan dock säga att investeringskostnaden kan förväntas bli relativt hög om något företag skulle besluta sig för tillverkning. Å andra sidan skulle driftskostnaden sannolikt bli relativt låg. Om utrustningen kan användas på stora arealer skulle den alltså kostnadsmässigt kunna konkurrera med andra metoder.

Vid en eventuell utveckling och användning av kontakt eller gnisturladdningsmetoden skulle säkerhetsaspekterna väga tungt. En sådan utrustning har strömförande delar med farligt höga spänningar. Statens Energiverk kan ge tillstånd för tillverkning av denna typ av utrustning, men utan färdiga konstruktionsritningar kan man inte få besked om chanserna att få tillstånd.

Sammanfattningsvis kan man säga att elström skulle kunna vara ett alternativ till andra bekämpningsmetoder i vissa speciella situationer. I dagsläget finns det inte någon utrustning tillgänglig på marknaden, men det finns tillräckligt mycket erfarenheter dokumenterade för att göra det möjligt att tillämpa gnisturladdnings- och kontaktmetoderna om utrustningen kan konstrueras på ett säkert sätt.

REFERENSER

- Bayev, V.I. & Savchuk, V.N. 1974. The effective factors of electric spark discharge in treatment of plants. *Electrochemistry in Industrial Processing and Biology*, 1, 73-75. Refererat i: *Deprose m.fl.*, 1984.
- Bayev, V.I. & Savchuk, V.N. 1976. Breakdown voltages of plate electrodes for spark treatment of plants. *Electrochemistry in Industrial Processing and Biology*, 1, 69-73.
- Berling, J. 1993. Getting weeds in hot water. *Farm Industry News*, vol 26. No 1, 44.
- Bramlett, J. 1977. New device zaps weeds. *Progressive Farmer*, April, 70.
- Chandler, J.M. 1978. Crop and weed response to an electrical discharge. *Proc. Southern Weed Science Society*, 31, 63.
- Dexter, A. & Feight, J.J. 1979. Zap weeds with lightning weeder. *Weeds Today*, 10, 9-10.
- Diprose, M.F., Benson, F.A. & Hackham, R. 1980. Electrothermal control of weed beet and bolting sugar beet. *Weed Research*, 20, 311-322.
- Diprose, M.F., Hackham, R. & Benson, F.A. 1978. Weed control by high voltage electric shocks. *Proc. British Crop Protection Conf. - Weeds*. November, 443-450.
- Diprose, M.F. & Benson, F.A. 1984. Electrical methods of killing plants. *J. Agric. Engng Res.* 30. 197-209.
- Diprose, M.F., Benson, F.A. & Willis, A.J. 1984. The Effects of Externally applied Electrostatic Fields, Microwave Radiation and Electric Currents on Plants and other Organisms, with Special Reference to Weed Control. *The Botanical Review*, 50, 171-223.
- Diprose, M.F., Fletcher, R., Longden, P.C. & Champion, M.J. 1985. Use of electricity to control bolters in sugar beet (*Beta vulgaris* L.): a comparison of the electrothermal with chemical and mechanical cutting methods. *Weed Research*, 25, 53-60.
- Diprose, M.F. & Mattsson, B. 1993. Non-chemical weed control - trends in European practice - with special reference to electrical weed control. *Soil Sci. Trends in Agricultural Sci.*, 1, 243-250.
- Drolet, C. & Rioux, R. 1983. Cit: Evaluation d'une rampe utilisant un courant électrique pour le controle des mauvaises herbes. Research Branch, Agriculture Canada. Ottawa. ERDAF Report No. 34 SZ.01843-1-EC24, 66 s. Refererat i: *Vigneault m.fl.*, 1990.
- Dykes, W.G. 1977. EDS for control of broadleaf weeds in sycamore trees. Opublicerat material.
- Dykes, W.G. 1980. Principles and practices of electrical weed control. American Society of Agricultural Engineers, Conference June 15-18. Paper No 80-1007.
- Fergedal, S. 1993. Ogräsbekämpning genom frysning med flytande kväve och kolsyresnö - en jämförelse med flanning. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst för lantbruksteknik. Rapport 165.
- Howe, D. 1977. Zap! Another way to control weeds. *Nebraska Farmer*, June 18.

- Kaufman, K.R. & Shaffner, L.W. 1980. Energy requirements and economic analysis of electrical weed control. American Society of Agricultural Engineers, Conf. June 15-18. Paper No 80-1008.
- Kaufman, K.R. & Shaffner, L.W. 1982. Energy and economics of electrical weed control. Trans. Amer. Soc. Agric. Engin. 25, 297-300.
- Klimanov, A.A., Savchuk V.N. & Bayev, V.L. 1970. Electrophysical parameters and properties of plant tissue exposed to the action of spark discharge. Applied Electrical Phenomena, 1, 64-68.
- Rasmusson, D.D., Dexter, A.G. & Warren, H. 1979. The use of electricity to control weeds. Proc. North Central Weed Control Conf. 34:66.
- Savchuk, V.N. & Bayev, V.I. 1975. An investigation of electrodes for electric spark treatment of plants. Electrochemistry in Industrial Processing and Biology, 4, 66-70.
- Sharpe, A.A. 1893. U.S. Patent No.492,635.
- Slesarev, V.N.; Gubanov, N.Y. & Nechaev, B.V. 1972. The destruction of weeds by electric current. Översatt från Mechanization and Electrification of Socialist Agriculture, 12, 45-46. 1970, av W.R. Gill, 14 mars, 1972. Soil Scientist U.S.D.A. National Tillage Machinery Laboratory, P.O. Box 792, Auburn, Alabama 36830, U.S.A.
- Seslarev, V. 1973. The use of electric spark discharges in agriculture. Översatt från Zemledelie, 9, 56, 1972 av W.R. Gill, 26 september 1973. Soil Scientist U.S.D.A. National Tillage Machinery Laboratory, P.O. Box 792, Auburn, Alabama 36830. U.S.A.
- Slesarev, V. 1973. The use of electric spark discharges in agriculture. Översatt från Zemledelie, No. 9, s.56, 1972 av W.R. Gill, U.S.D.A. National Tillage Machinery Laboratory, P.O.Box Auburn, Alabama 36830. USA.
- Sugarbeet Grower. 1981. Electrical energy proves effective in weed control. March.
- Svitalka, P.I. 1976. The effective factors of spark discharge and their role in damaging vegetable tissue. Electrochemistry in Industrial Processing and Biology, 2, 65-68.
- Vigoureaux, A. 1981a. Results of trials carried out in Belgium in 1980 about killing weed beets by electric discharge. Med. Fac. Landbouww. Ryksuniv. Gent. 46, 163-172.
- Vigoureaux, A. 1981b. The problem and control of weed beet in Belgium, with particular reference to machinery tested in Europe. 21st General Meeting of the American Soc. of Sugar Beet Technologists. 22-26 Feb. Paper B29. San Diego, California. 24 s.
- Vigneault, C. 1985. Use of electrocution as the primary means of weed control in row crops. ASAE. No. 85-1507. 7 s.
- Vigneault, C, Benoit, D.L. & McLaughlin, N.B. 1990. Energy aspects of weed electrocution. Rev. Weed Sci. 5, 15-26.
- Wilson, R.G.Jr. & Andersson, F.N. 1981. Control of three weed species in sugarbeets (*Beta vulgaris*) with an electrical discharge system. Weed Science Society of America Journal. Vol. 29, No. 1, 93-98.

Zollinger, R.K. 1994. Success and limitations of electrical discharge systems (EDS) in the United States. Proc. of an International Workshop. Federal Office of Environment, Forests and Landscape. Environmental Documentation. No 20, 83-88.